

# Bases fisiològiques de l'entrenament visual

**PILAR PLOU CAMPO\***

Centre d'Optometria Internacional

Correspondència amb autora

\* [drplou@coi-sl.es](mailto:drplou@coi-sl.es)

## Resum

L'entrenament visual (EV) es basa en la realització d'una sèrie de bateries d'exercicis protocolitzats que necessàriament han de complir certes característiques: estar dissenyats partint dels resultats trobats en l'examen optomètric, seguir un ordre evolutiu adequat a les capacitats del pacient i compondre's d'exercicis específics per a la funció que es vol millorar.

Els exercicis realitzats incideixen directament sobre la via retinocortical, la via retinosubcortical i els músculs extrínsecs i intrínsecs de l'ull, millorant la funció dels esmentats sistemes gràcies a la plasticitat cerebral.

Conèixer on, perquè, i quan podem fer EV ens ajudarà a comprendre millor les regles que sustenten l'EV i a millorar amb seguretat els nostres protocols d'actuació.

## Paraules clau

Entrenament visual, Fisiologia de l'ull.

## Abstract

### *Physiological bases of the visual training*

*The visual training (VT) basis on the accomplishment of sequenced batteries of exercises that necessarily must fulfil certain characteristics: to be designed according to the results found in the optometric examination, to follow a suitable evolutionary order adapted to the patient abilities, and to be made up of specific exercises for the function that is wanted to improve.*

*The exercises directly affect the retinal-cortical route, the retinal-subcortical route and extrinsic and intrinsic muscles of the eye, improving the function of these systems thanks to the cerebral plasticity.*

*Knowing where, because and when we can make VT will help us to understand better the rules sustaining the VT and to improve securely our behaviour protocols.*

## Key words

Visual training, Physiology of the eye

## Introducció

Es defineix l'entrenament visual (EV) com l'“*Art de millorar les condicions visuals del pacient-usuari*” amb l'objectiu d'establir noves relacions, que permetin de rebre, processar i comprendre millor la informació visual. El procediment de l'EV es basa en la repetició d'un seguit d'exercicis protocol·litzats en freqüència, intensitat i complexitat, que pretenen de millorar la capacitat visual del pacient i així assolir una visió més eficaç. Estem parlant d'un **procés d'aprenentatge**. Per tal de comprendre i desenvolupar els procediments que ens portin a aconseguir els objectius exposats creiem necessari conèixer les bases fisiològiques que sostenen l'EV, perquè com ens recorda Tsien (1999) “*Importa estudiar les bases moleculars de l'aprenentatge i la memòria, perquè el que aprenem determina, en bona mesura, el que som*”. A més a més, i ja des d'un punt de vista pràctic, conèixer aquestes bases fisiològiques ens permetrà de respondre amb seguretat les preguntes següents:

- On estem actuant? Sobre quin sistema?
- Per què hi podem actuar?
- Quin és el moment idoni per començar un EV?

## Concepte

Com ja hem definit, entenem l'EV com l'art de millorar les condicions visuals del pacient. Alhora, hem de definir l'**art**, en el concepte més clàssic, com una manifestació conscient de creativitat basada en la destresa i l'habilitat per a la producció d'alguna cosa. Per tant, dintre de l'EV hi ha una part creativa no gens menyspreable, que ha de tenir necessàriament el terapeuta d'una forma més o menys innata i una part imprescindible de destresa adquirida a través de l'estudi, comprovació, pràctica i coneixement d'unes regles que li confereixen la categoria de ciència.

L'entrenament visual està format per una sèrie de bateries d'exercicis protocol·litzats, en dependència de

l'alteració visual a tractar, de la seva freqüència, intensitat i complexitat.

Perquè els protocols d'una teràpia visual siguin efectius cal que compleixin necessàriament unes certes característiques.

- En primer lloc, cal que estiguin **dissenyats en relació amb l'examen optomètric**. Sota cap concepte hem d'iniciar un EV si abans no s'ha realitzat un examen optomètric detallat, i en el cas d'un esportista, un examen de les habilitats visuals implicades en l'esport. Els resultats que n'obtinguem ens indicaran en quines àrees presenta deficiències el pacient, quines podem millorar i amb quina prioritat. També ens indicarà si hi ha alguna mena d'alteració que no és susceptible de ser tractada amb EV; en aquest cas, hem de ser honestos i no aixecar falses expectatives en el pacient.
- En segon lloc, hem d'estar **segurs que el pacient rep la informació visual en les millors condicions possibles**. És a dir, qualsevol tipus de defecte refractiu o de transparència de mitjans serà tractat prèviament, perquè l'estimulació de la via visual serà més eficaç si aquesta rep el millor estímul possible.
- En tercer lloc, el disseny del programa ha de **seguir un ordre cronològic i evolutiu adequat a les capacitats del pacient**. Com és lògic, la bateria d'exercicis proposada per a un tipus concret d'alteració visual ha d'iniciar-se a diferent nivell, segons que estiguem parlant d'un nen, d'un adult o d'un esportista d'elit. A més a més, cal **iniciar-los en el seu nivell crític de dificultat**, segons quines siguin les capacitats del pacient. Si li establim una pauta d'exercicis sense cap dificultat, a part que és improbable que exercixin cap acció positiva, faran que el pacient s'avorzeixi i si establim una pauta d'exercicis que inicialment estan molt per damunt del seu nivell es descoratjarà i en ambdós casos el més probable és que el pacient abandoni la teràpia visual.
- Tots els protocols han d'estar **compostos per exercicis específics per a la funció que es vol millorar**, que reproduïxin de la forma més fidel possible un tipus concret d'habilitat. Si volem millorar els moviments sacàdics dels ulls (visió prop-lluny) no ho aconseguirem exercitant qualsevol

tipus de motilitat ocular, només ho aconseguirem a força d'entrenar els sacàdics; és més, si volem entrenar, per exemple, sacàdics predictius horitzontals, solament els millorarem si proposem exercicis on estiguin implicats concretament aquest tipus de moviments oculars i no altres.

- Qualsevol teràpia, i la visual no n'ha de ser una excepció, **ha de ser ràpida i efectiva**. Per això, hem de tenir molt clar des del primer moment quins són els nostres objectius finals i els objectius del pacient. En funció de tot plegat dissenyarem un protocol encaminat a aconseguir petits objectius proposats sobre la base dels del pacient, en ordre de prioritats, cosa que dóna valor a la teràpia i anima el pacient; sense perdre de vista l'objectiu final que, com que és més llunyà i més abstracte per al pacient, no li suposa un estímul. En el cas que, a causa del tipus d'alteració a tractar, l'EV es perllongui en el temps, el pacient ha de ser avisat amb antelació d'aquest fet i ser conscient de la perseverança que haurà de tenir per arribar als objectius desitjats.
- **Tot EV serà individualitzat**, sobre la base de l'examen optomètric, seguirà un ordre cronològic i evolutiu i tindrà sempre presents els objectius del pacient, és a dir, serà únic i personal; però **seguint una sèrie de bateries d'exercicis específics d'eficàcia demostrada**.

Conèixer on, per què i quan podem fer EV ens ajudarà a comprendre millor les regles que sostenen l'EV i a millorar els nostres protocols d'actuació. Aquest coneixement es transferirà en seguretat, que necessàriament serà percebuda pels nostres pacients i farà que la nostra creativitat, a l'hora de modificar o crear nous exercicis, sigui fruit d'una reflexió seriosa i no del simple atzar.

Si recordem que, de tota la informació que diàriament rebem, entre el 60 i el 80 % està proporcionada pel nostre sistema visual, comprendrem la importància que pot tenir un sistema visual eficaç en l'aprenentatge i, en últim terme, en el comportament, en aquest cas, esportiu.

## On estem actuant?

Els exercicis realitzats en l'EV incideixen directament sobre dos sistemes que formen part del sistema visual:

- El sistema muscular: Músculs extrínsecs de l'ull i músculs intrínsecs de l'ull.
- El sistema nerviós: Via retinogeniculatcortical i Via retinomesencefàlica.

Hem de conèixer les característiques anatomofisiològiques d'aquests sistemes, i tenir-les sempre presents a l'hora de protocol·litzar un entrenament, perquè hi influiran directament.

Com ens recorda Morgagni (1761) *“Aquells que han disseccionat i examinat molt han après almenys a dubtar, mentre que altres, desconixedors de l'anatomia i que se'n desprecupen, no dubten de res”*.

Seguint el consell de Morgagni, fins i tot assumint el risc que al principi només aprenguem a dubtar, descriurem a continuació les característiques anatomofisiològiques més rellevants del sistema visual. Atès que el sistema muscular és més conegut per tothom, ens centrarem en el sistema nerviós, concretament en la via retinogeniculatcortical o també anomenada retinocortical.

**La via retinogeniculatcortical**, és una via complexa, però no deixa de ser una clàssica via sensitiva. Com a tal, està formada per un òrgan receptor, “l'ull”, un transductor de senyals “les cèl·lules fotoreceptores” (cons i bastonets) i una via de transmissió neuronal “les cèl·lules ganglionars de retina” que conformen el nervi, el quiasma i les cintes òptiques. (Fig. 1).

Com qualsevol informació sensitiva, primer fa un relliu al tàlem, “sinaptant” amb un nucli sensitiu primari “el Cos geniculat lateral o extern” (CGL) i després, a través de les radiacions òptiques, arriba a l'escorça cere-

bral, concretament “l'escorça occipital”, on la informació visual s'interpreta i es fa conscient.

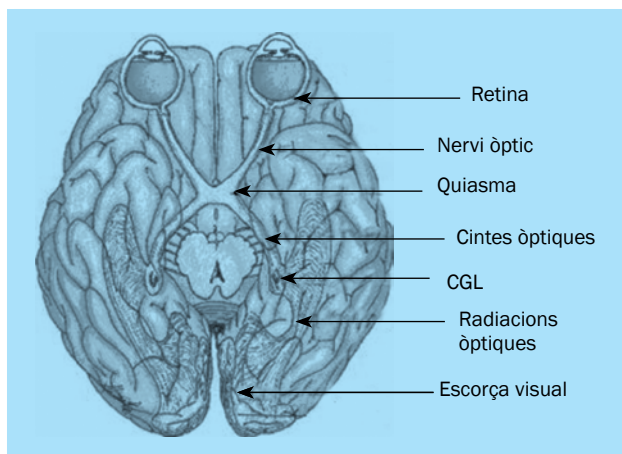
**L'ull** és el receptor específic de la via visual, està dissenyat perquè els estímuls lluminosos arribin a les cèl·lules fotoreceptores en les millors condicions possibles. Es comporta com un microprocessador d'imatges capaç de modificar la seva òptica a través d'una complexa via de retroalimentació cortical i mesencefàlica, amb l'únic objectiu que l'estímul visual arribi als fotoreceptors, de la part més central de la retina, amb la màxima qualitat possible. Si nosaltres pretenem d'estimular la via visual amb garanties d'èxit el primer que hem de fer és assegurar-nos que aquest objectiu es compleixi.

Per fer-ho, en l'examen optomètric inicial examinarem els mitjans transparents, el sistema refractiu i el sistema acomodatiu i binocular, i tractarem les possibles alteracions trobades, com a primera mesura. Per exemple, davant d'una ambliopia per privació sensorial deguda a una cataracta el primer que hem de fer és eliminar la causa de la privació; davant d'una ambliopia refractiva, el primer que hem de fer és corregir el defecte refractiu amb la millor correcció possible en aquest moment. Ja sabem que aquestes mesures són molt lògiques i difícils de desatendre, però de vegades estem tan “emocionats” per començar la teràpia visual, que se'ns oblidava que és imprescindible “facilitar-li la vida” a la nostra retina, presentant-li la imatge més nítida possible.

**La retina** és la túnica nerviosa de l'ull, amb unes característiques anatomofuncionals que l'aparten àmpliament del clàssic concepte de pel·lícula de càmera fotogràfica, la retina és una “hàbil manipuladora de la llum”.

Des del punt de vista macroscòpic podem dividir la retina en dues parts, una de central que ocupa 30° des del pol posterior i una altra de perifèrica. Al centre de la retina podem distingir una petita regió denominada màcula amb una depressió anomenada fòvea, que conté la fovèola. En aquesta regió totes les capes de retina es troben desplaçades cap als costats, cosa que permet que la llum arribi als cons sense haver de travessar les diferents capes retinals.

Aquesta peculiaritat anatòmica, afegida al fet funcional que cada un d'aquesta regió únicament fa sinapsi amb una cèl·lula bipolar i aquesta amb una sola cèl·lula ganglionar, converteixen la fòvea en el lloc de màxima agudeses visual. Al contrari del que s'esdevé a la retina més perifèrica, on fins a 300 bastonets convergeixen en una sola cèl·lula ganglionar, és a dir 300 punts es convertiran en un de sol a la nostra escorça visual. Per això l'objectiu de tota la motilitat ocular és fer coincidir la



**Figura 1**  
Via Retinogeniculatcortical.

fòvea amb l'objecte del nostre interès, en temps, en espai i en focus.

Com és fàcil de suposar, si la nostra fixació no és foveal, sigui pel motiu que sigui, mai no assolirem una bona agudes visual (AV). Aquest fet té una implicació directa amb l'entrenament visual (EV), davant qualsevol fixació excèntrica el primer que hem de fer és passar-la a central, perquè mai no podem pretendre d'arribar a un màxim d'AV fora de la fovèola, a causa de la convergència sinàptica que es dona a la retina. (Fig. 2).

Des del punt de vista microscòpic la retina està formada per la successió de diferents cèl·lules: cons i bastonets o cèl·lules fotoreceptores, cèl·lules horitzontals, bipolars, amacrines i ganglionars.

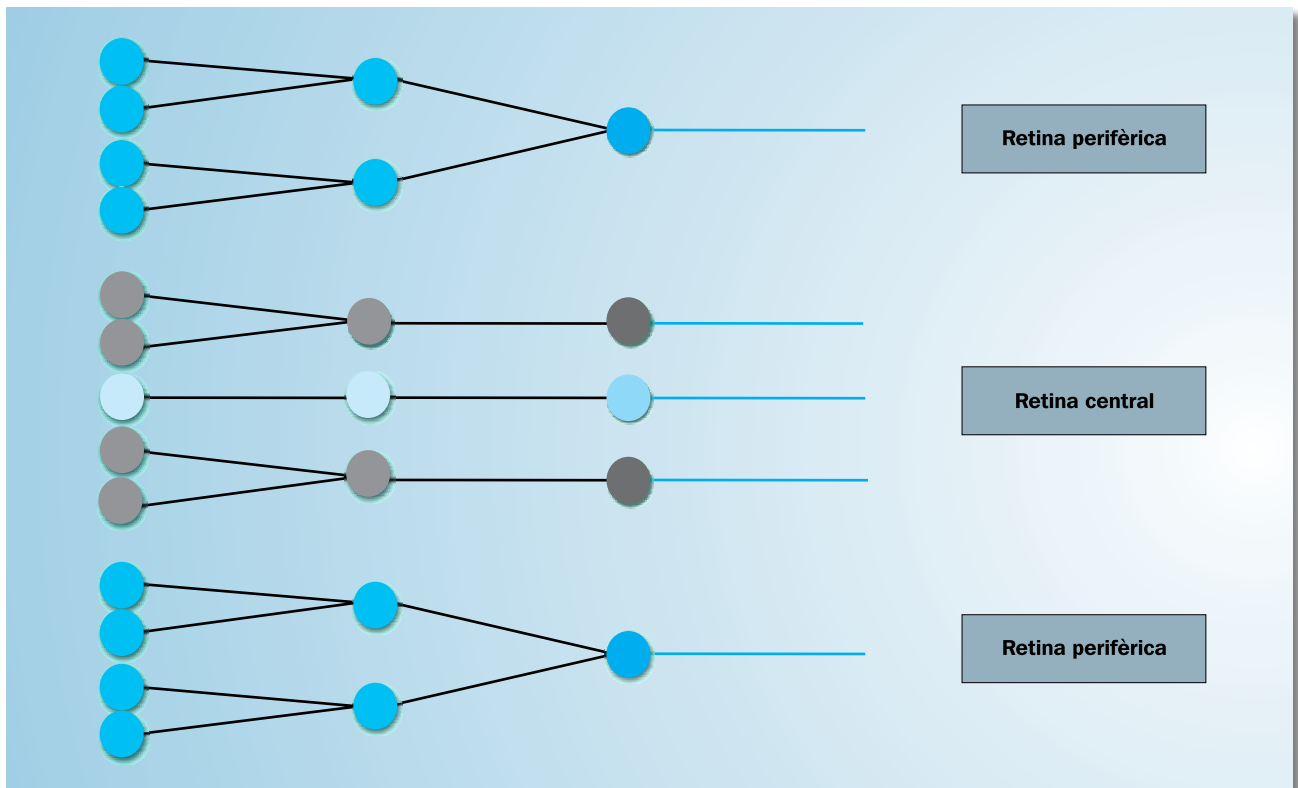
El feix de llum penetra, travessant les diferents capes de retina, fins arribar a **les cèl·lules fotoreceptores** (uns 5,5 milions de cons i 125 milions de bastonets en cada retina), capaces d'absorbir l'energia lluminosa i transformar-la en impuls electrotònic mitjançant un complex procés fotoquímic, en la descripció del qual no entrem. La concentració de cons i bastonets es distribueix de forma irregular per la retina, de tal manera que la

proporció de cons és màxima a la fòvea, proporció que anirà disminuint en favor d'un augment del nombre de bastonets, que tindran la concentració màxima a la retina més perifèrica.

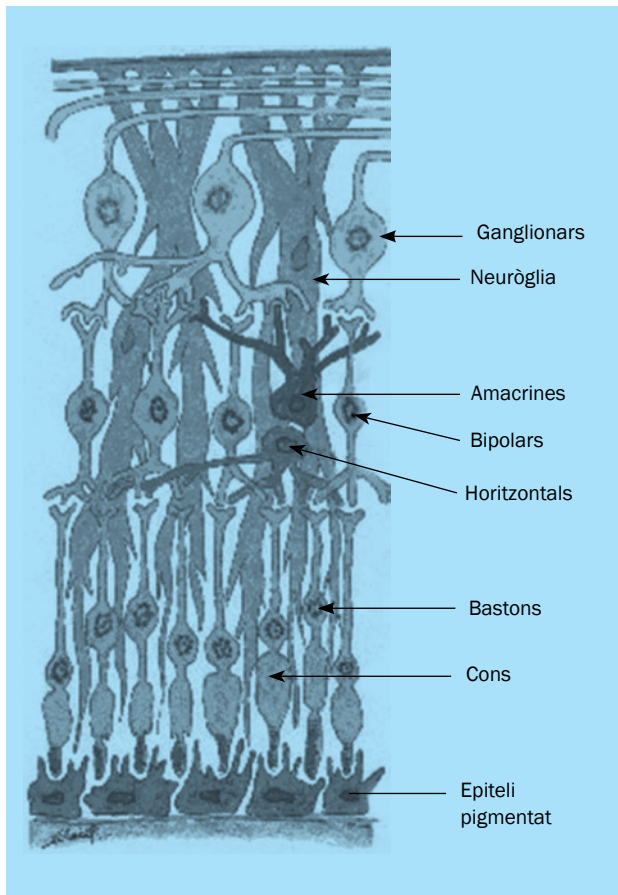
Aquesta particular distribució, la diferent composició en pigments fotoquímics de cons i bastonets, afegida a la seva particular proporció de convergència sinàptica, fan de la retina central una especialista en visió cromàtica i fotòpica, i la retina perifèrica en visió escotòpica i del moviment. Si ens preguntem amb quin tipus d'estímuls hem d'estimular de forma més eficaç la retina central o la retina perifèrica hem de tenir en compte aquesta especialització.

L'impuls recollit pels fotoreceptors serà transmès a les **cèl·lules bipolars**. Es descriuen 2 tipus de cèl·lules bipolars: les despolaritzadores i les hiperpolaritzadores, cosa que confereix a aquestes la peculiaritat de transmetre tant senyals negatius com positius a les cèl·lules ganglionars.

Entre els fotoreceptors i les cèl·lules bipolars s'estén una via lateral de retroalimentació negativa interna de retina composta per les cèl·lules **horitzontals**, encarregades de magnificar els contrastos, cosa que produeix una intensificació en les vores dels objectes, i això és



**Figura 2**  
Esquema de l'estructura sinàptica de la retina central i perifèrica.



**Figura 3**

Estructura cel·lular de la retina.

molt avantatjós per a la identificació visual. Quan, pel motiu que sigui, partim d'una AV deprimida hem de fer servir optotips d'alt contrast, per tal de millorar inicialment la qualitat d'imatge que arribarà als CGLs; quan ja aconseguim de millorar l'AV podem anar disminuint a poc a poc el contrast per adequar més els nostres exercicis a les imatges en la vida real.

Entre les cèl·lules bipolars i les ganglionars s'estén una via lateral de retroalimentació positiva interna de retina composta per les cèl·lules **amacrines**, especialitzades a amplificar els canvis sobtats d'intensitat de llum, com passa quan un objecte entra ràpidament en el nostre camp visual. Igualment, aquestes cèl·lules reben informació centrífuga des del CGL i l'escorça visual capaç de magnificar zones específiques del camp retinal, segons els nostres interessos i motivacions, fet que cal tenir molt en compte a l'hora de planificar l'EV. (Fig. 3).

Les últimes cèl·lules representants de la retina són les cèl·lules ganglionars, els seus axons constituïran el

nervi, el quiasma i les cintes òptiques. Hi ha tres tipus de cèl·lules ganglionars: X, Y i W.

- **Cèl·lules X:** Anomenades també P, per la seva connexió posterior majoritària amb les capes parvicel·lulars del CGL. Mantenen una resposta sostinguda sempre que la il·luminació neta no canviï, malgrat que els elements clarobscurs dintre del camp es moguin. Són molt sensibles als contrastos d'alta intensitat i n'hi ha moltes que són selectives respecte a la longitud d'ona. Reben les seves aferències directament de cèl·lules bipolars amb escassa convergència de camps receptors, per això la seva concentració màxima es troba a la retina central i minva a la retina perifèrica. Es creu que es troben especialitzades en la capacitat de discriminació espacial i del color.
- **Cèl·lules Y:** Anomenades també M, per la seva connexió posterior majoritària amb les capes macrocel·lulars del CGL. Al contrari que les anteriors, donen lloc a respostes fàssiques o transitòries quan hi ha moviment o redistribució dels elements clarobscurs dintre del camp. Són molt sensibles als contrastos de baixa intensitat i els seus axons transmeten a molta velocitat. Reben les seves aferències de cèl·lules bipolars amb convergència de camps receptors i de gran nombre de cèl·lules amacrines. Tenen una concentració màxima a la retina perifèrica i disminueix a la retina central. Hom creu que estan especialitzades en les imatges en moviment.
- **Cèl·lules W:** Responen a la pèrdua d'uniformitat en el camp visual. Possiblement estiguin implicades en el control del diàmetre pupil·lar i en el control dels moviments dels ulls i del cap en resposta a objectes en moviment. La seva connexió posterior és fonamentalment mesencefàlica, a nivell dels tubercles quadrigeminats anteriors i regions preteccals. Per tant, seran les cèl·lules que conformaran majoritàriament la via retinomesencefàlica.

Com veiem, s'inicia ja a la retina, un fet que persistirà al llarg de tot el procés perceptiu de la visió, el **tractament i conducció de la informació visual en paral·lel per atributs**. Una característica molt important a l'hora de planificar un entrenament visual perquè, com hem vist a les característiques generals, exigirà de realitzar exercicis molt específics. Per exemple, un fet força freqüent és pretendre de millorar atributs visuals dinàmics, com l'agudesia visual dinàmica, la coordinació

ull-mà o el temps d'anticipació d'un esportista, utilitzant exercicis basats en estímuls estàtics i en contrastos d'alta intensitat; si fem això, en realitat estem estimulants la via parvicel·lular i no la macrocel·lular, per això, mai no aconseguirem de transferir els resultats del nostre entrenament al rendiment esportiu.

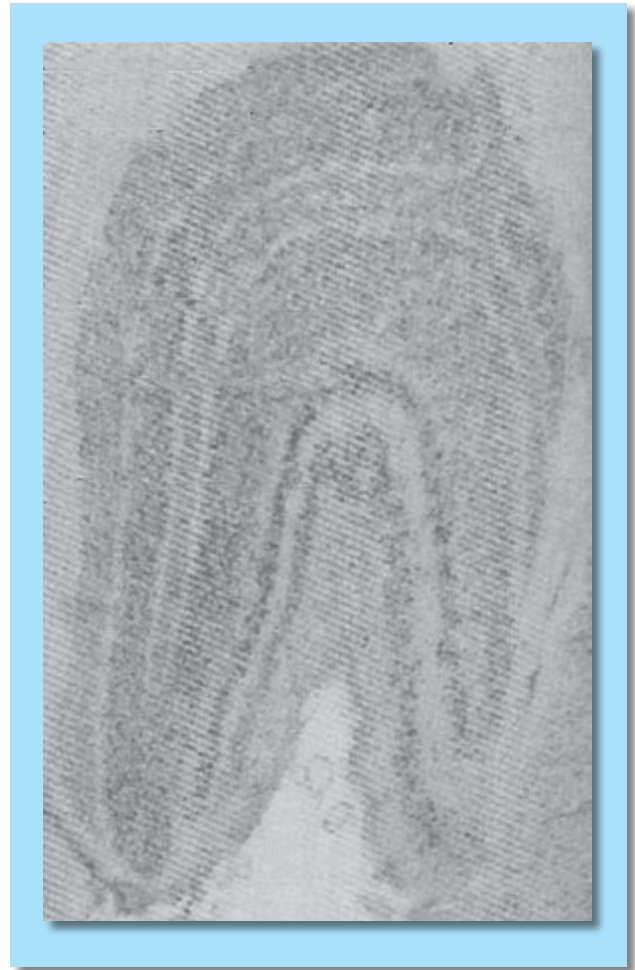
En resum, podem dir que la retina, en comptes de comportar-se com una inanimada pel·lícula de càmera fotogràfica, és capaç d'adaptar-se a una àmplia gamma d'intensitats lluminoses, capaç de modificar la informació visual, tot amplificant contrastos o tipificant les diferents longituds d'ona per tal d'obtenir un major aprofitament de la informació i, en últim terme, capaç d'empaquetar la informació per atributs, cosa que en facilita la distribució per canals específics que acabaran en llocs específics. I per tant, ha de ser estimulada seguint aquesta particular configuració.

El 80 % dels axons de les cèl·lules ganglionars, després de recórrer el nervi, el quiasma i la cinta òptica, faran sinapsi amb les cèl·lules del cos geniculat lateral.

**El cos geniculat lateral** és un nucli visual primari de molta importància, situat al tàlem. Des del punt de vista estructural aquest nucli està format per 6 capes. Les capes 1 i 2 estan constituïdes per neurones de mida gran (cèl·lules M) per la qual cosa s'anomenen capes Macrocel·lulars, en contraposició amb les capes 4 a 6 constituïdes per neurones més petites (cèl·lules P), les quals hom denomina capes Parvicel·lulars. Cadascuna d'aquestes dues cèl·lules representa un tipus d'informació concreta, seguint l'especialització de la informació visual per vies separades Y i X, iniciada a la retina.

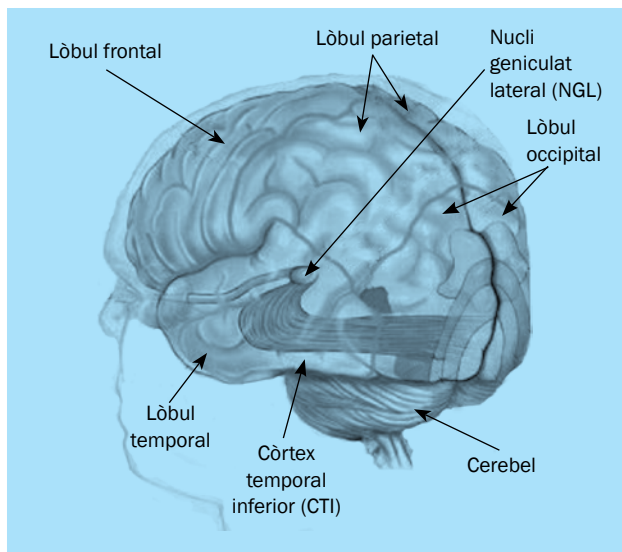
En aquest nucli la informació visual experimentarà un procés de correcció. Seguint la hipòtesi de Bishop, aquest procés és imprescindible, perquè cada cos geniculat rep informació d'un ull i de l'altre (per la decussació quiasmàtica), amb una petita falta de correspondència retinal, més acusada en posicions terciàries de mirada, a causa de la diferent posició de cada ull. Aquesta correcció es realitza amb la finalitat de permetre una fusió d'imatges adequada a l'escorça visual. (Fig. 4).

A més a més, el CGL rep informació de l'escorça visual, de l'escorça temporal mediana, de la formació reticular protuberància i del pulvinar. L'estimulació mitjançant elèctrodes de les vies corticífugues provoca una inhibició del CGL i el mateix passa en estimular el nervi òptic contralateral, cosa que provoca una inhibició retinogeniculada. Creiem que aquest tipus de retroalimentació negativa contralateral té una influència fona-



▲  
**Figura 4**  
Cos Geniculat Lateral. (Font: Investigación y Ciencia. Prensa Científica S.A.)

mental en l'establiment de l'ambliopia i unes implicacions importants a l'hora de plantejar-nos l'entrenament visual. Si ens limitem a tancar durant un temps més o menys llarg l'"ull bo", teràpia passiva, és previsible que l'AV de l'"ull dolent" millori, perquè s'acaba d'evitar la intensa retroalimentació negativa que rebia a través de la via sana. Però, si no iniciem una estimulació activa de l'ull ambliop i li ensenyem a treballar fins i tot amb l'oposició de l'ull contralateral, els resultats seran pobres i peribles. Per això és imprescindible acabar les fases bioculars i binoculars de la bateria d'exercicis en el tractament de l'ambliopia, així estem segurs que l'ull inicialment ambliop és capaç de superar la retroalimentació negativa contralateral, és a dir, és capaç de mantenir indefinidament una bona AV sense necessitat de penalitzar constantment l'ull sa.



**Figura 5**  
Divisió funcional de l'escorça visual. (Font: *Investigación y Ciencia*. Prensa Científica S.A.)

Els axons de les neurones del cos geniculat formaran **les radiacions òptiques**, que arribaran a l'escorça visual situada al lòbul occipital, on la informació visual és interpretada i es fa conscient.

**L'escorça visual** es localitza, clàssicament, a les àrees 17,18 i 19 de Brodmann, del lòbul occipital. L'escorça visual dreta rep la informació del camp visual esquerre i l'esquerra la del camp visual dret; totes dues escorces es troben relacionades a través del cos callós.

L'escorça visual està formada per l'escorça visual primària, estriada o V1 i per l'escorça d'associació visual o preestriada, que inclou les àrees V3, V4 i V5. Ambdues escorces, estriada i preestriada, es troben separades per la regió V2. (Fig. 5).

**L'escorça visual primària, estriada o V1** rep les fibres de les radiacions òptiques, i crea una àrea de representació visual anomenada retina cortical, que ocupa el 4 % de la superfície cerebral. Aquesta àrea és l'encarregada d'enviar la informació visual a les àrees preestriades especialitzades.

Com que V1 ha d'enviar informació a àrees d'especialització funcional és lògic pensar que V1 ha de presentar igualment una especialització. Mitjançant tincions específiques se sap que V1 presenta columnes cel·lulars intensament tenyides, que hom anomena zones globulars, on es concentren les cèl·lules que responen selectivament a la longitud d'ona de la llum. Aquestes regions es troben separades per regions de menor intensitat de

tinció, anomenades interglobulars, on es concentren les cèl·lules que responen selectivament a la forma.

A més a més, se sap experimentalment que les capes 2 i 3 responen vigorosament i de forma sostinguda als estímuls visuals, i que s'ocupen preferentment dels estímuls de color. En canvi, la capa 4B presenta respostes transitòries als estímuls visuals, preferentment relacionats amb el moviment i indiferents al color; posteriorment, es projecta a les àrees V3 i V5.

V1, a més a més d'enviar la informació per paquets a les diferents àrees preestriades, envia la seva informació a l'àrea V2.

**L'àrea V2** també presenta una arquitectura característica a la tinció, i diferencia bandes primes, amb concentració de cèl·lules selectives a la longitud d'ona; bandes gruixudes, amb concentració de cèl·lules selectives a la direccionalitat del moviment i a la forma; i interbandes amb concentració de cèl·lules selectives a la forma.

**En resum, V1 i V2** sembla que realitzen una anàlisi, exhaustiva precisa, per seccions del camp visual, i empaqueten la informació per atributs (color, forma i moviment) i l'envien posteriorment a l'escorça preestriada. Igualment, V1 i V2 reben informació de re-aferència de les àrees preestriades, entre altres coses per tal d'assenyalar la posició exacta de l'estímul dintre del camp visual (recordem que V1 té un camp retinal precís) i, a més a més, V1 rep també re-aferències de V2.

**L'escorça preestriada** envolta concèntricament les àrees anteriors i rep la informació empaquetada, segons l'esquema d'especialització perceptiva següent:

- **V3:** especialitzada en la percepció de la forma, més lligada al moviment i amb independència del color.
- **V4:** especialitzada en la percepció de la longitud d'ona de la llum i de l'orientació de les línies; intervé en la percepció de la forma lligada al color.
- **V5:** especialitzada en la percepció del moviment, selectiva a la direcció i independent del color del mòbil. Aquesta àrea és anomenada també **MT**.

Així doncs, l'escorça visual funciona seguint l'especialització en el tractament de la informació visual que s'inicia a la retina i processa per separat els atributs visuals, com ara la forma, el color i el moviment.

Per facilitar la comprensió d'aquest concepte d'espe-

cialització funcional, podríem dividir el nostre sistema visual en 3 sistemes perceptius fonamentals, que s'encarreguen d'estudiar l'estímul visual mitjançant un seguit de processos paral·lels:

**Sistema encarregat de la forma, independent del color i amb tendència dinàmica:**

*Cèl·lules Y de retina →  
Capes macrocel·lulars del CGL → V1 i V2 → V3*

*Característiques:* alta resolució espacial i ignorància cromàtica.

**Sistema encarregat del color, de la forma lligada al color, amb tendència estàtica:**

*Cèl·lules X de retina →  
Capes parvicel·lulars del CGL → V1 i V2 → V4*

*Característiques:* alta resolució cromàtica, alta resolució espacial, baixa sensibilitat al contrast.

**Sistema encarregat del moviment:**

*Cèl·lules Y de retina →  
Capes macrocel·lulars del CGL → V1 i V2 → V5*

*Característiques:* ràpida resolució temporal, visió estereoscòpica, alta sensibilitat al contrast, baixa resolució espacial i ignorància cromàtica.

Cap de l'àrees estriades té per si sola funcions d'integració i síntesi de tota la informació visual, ni es coneix una àrea distinta a les descrites que la tingui. Possiblement, la percepció única de tots els atributs visuals inclosos en el nostre camp visual sigui deguda a la funció d'especialització i interrelació d'unes àrees amb les altres, que funcionen en una **sincronia temporal**, com suggereix W.J. Singer.

**En resum**, direm que cada àrea forma part específica de la integració dels senyals visuals i per això totes ajuden a la percepció d'aquests senyals, d'una forma incompleta per separat, però completa si totes aquestes àrees estan íntegres i treballant alhora.

Aquesta especialització cortical en àrees que analitzen atributs dispars de la imatge visual i que ocupen espais anatòmics o, com m'agrada anomenar-los, "nínxols neurològics" concrets i alhora plàstics, justifica plenament la insistència en la individualitat i especificitat de l'ús d'exercicis a realitzar en l'entrenament visual. Si proposem bateries d'exercicis amb estímuls d'alta

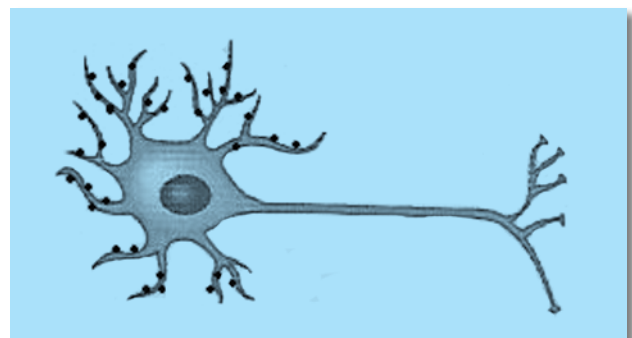
resolució cromàtica i alta resolució espacial, estarem millorant i ampliant el nínxol neurològic que ocupa V4 i, doncs, magnificant-ne la funció, però no podem pretendre que, alhora, amb el mateix tipus d'exercicis millorem V5. Qualsevol entrenament que proposem ha de basar-se en el coneixement de la via i l'àrea que volem millorar, plantejant així exercicis específics que siguin realment transferents als objectius reals del pacient, a la seva vida diària i no exclusiva a la seva millora en el nostre gabinet.

Per a acabar amb l'estudi de la via visual principal recordem les importants associacions que **l'escorça visual tindrà amb altres àrees corticals i subcorticals**, perquè la informació visual que s'interpreta i es fa aquí conscient no estaria plenament justificada si no s'utilitzés en la formació d'altres constructes perceptius o en l'elaboració de respostes motores.

## Per què podem actuar sobre la via visual?

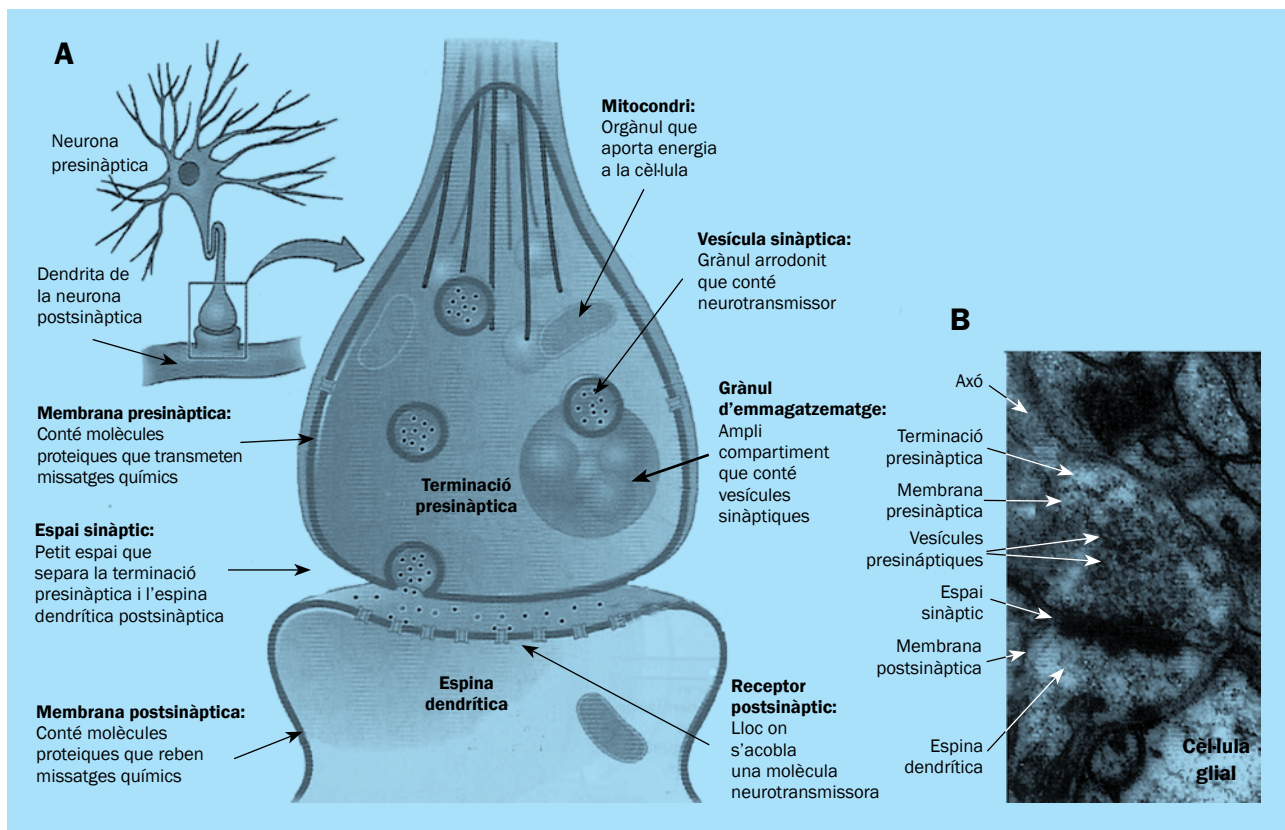
Fins a hores d'ara hem parlat d'anatomia i fisiologia de la via visual, però no oblidem que aquesta via està formada per una successió de neurones i en realitat és sobre aquestes on ha d'actuar l'entrenament visual.

La neurona és la unitat estructural i funcional del sistema nerviós. Una neurona típica està formada per un soma o cos del qual emergeixen múltiples prolongacions fines i ramificades anomenades dendrites i una prolongació única i més gruixuda denominada axó. Les dendrites presenten a la superfície unes lleus excrescències denominades espines. L'axó acaba en un o en diversos eixamplaments anomenats botons sinàptics, on se sintetitza i emmagatzema, en vesícules, el neurotransmissor. (Fig. 6).



**Figura 6**  
La neurona.



**Figura 7**

La sinapsi. (Font: *Cerebro y Conducta*. McGrawHill.)

Una neurona es comunica amb una altra a través d'una zona concreta denominada sinapsi. Una sinapsi química típica està formada per la membrana presinàptica, al botó sinàptic de l'axó, i la membrana postsinàptica, en una de les espines de les dendrites. Ambdues membranes s'enfronten deixant entre elles un espai anomenat fenedura sinàptica. És precisament a la sinapsi on ens centrarem a l'hora de justificar l'entrenament, perquè és aquí on s'esdevindran els canvis més significatius. (Fig. 7)

La plasticitat neuronal es basa en els canvis morfològics de la sinapsi, més concretament en la neoformació, destrucció o reestructuració de les ramificacions dels botons sinàptics i de les espines sinàptiques amb els seus receptors. És allò que hom anomena plasticitat sinàptica.

En la dècada dels 50, Hebb va proposar que les neurones que estiguessin en constant comunicació acabarien per reforçar les seves connexions, mentre que altres neurones que no contribuïssin a l'excitació d'aquesta neurona en perdrien les connexions.

En la dècada dels setanta Bliss i Lomo van descobrir que l'estimulació de circuits neuronals de l'hipocamp produïa una facilitació sinàptica que es perllongava en el temps, plasticitat a llarg termini o potenciació a llarg termini (PLP). També s'ha pogut demostrar el fenomen oposat, la depressió a llarg termini al cerebel (DLP)

A continuació tractarem els fonaments bioquímics de l'aprenentatge, centrant-nos en dos conceptes que justifiquen la PLP: la facilitació sinàptica, la multiplicació sinàptica.

**Facilitació sinàptica:** si s'estimula ràpidament i de forma repetitiva una terminació presinàptica, durant un temps limitat que eviti arribar a la fatiga de la transmissió sinàptica, la neurona acaba per respondre millor i més ràpidament als nous impulsos que li arribin. És molt probable que aquesta facilitació s'assoleixi per una major rapidesa del buidatge de les vesícules que contenen el neurotransmissor i per l'augment de la velocitat en l'obertura de canal dels receptors postsinàptics de les espines dendrítiques.

**Multiplicació sinàptica:** si s'estimula repetidament, al llarg de diversos dies, una terminació pre-sinàptica, durant un temps limitat que eviti arribar a la fatiga de la transmissió sinàptica, la neurona acaba per multiplicar les seves terminacions pre-sinàptiques (més botons en axó) i postsinàptiques (més espines a les dendrites), i per tant augmenta la quantitat de sinapsis que uneixen les neurones. En aquesta multiplicació es troben implicades la síntesi de noves proteïnes i molt probablement l'òxid nítric. (Fig. 8)

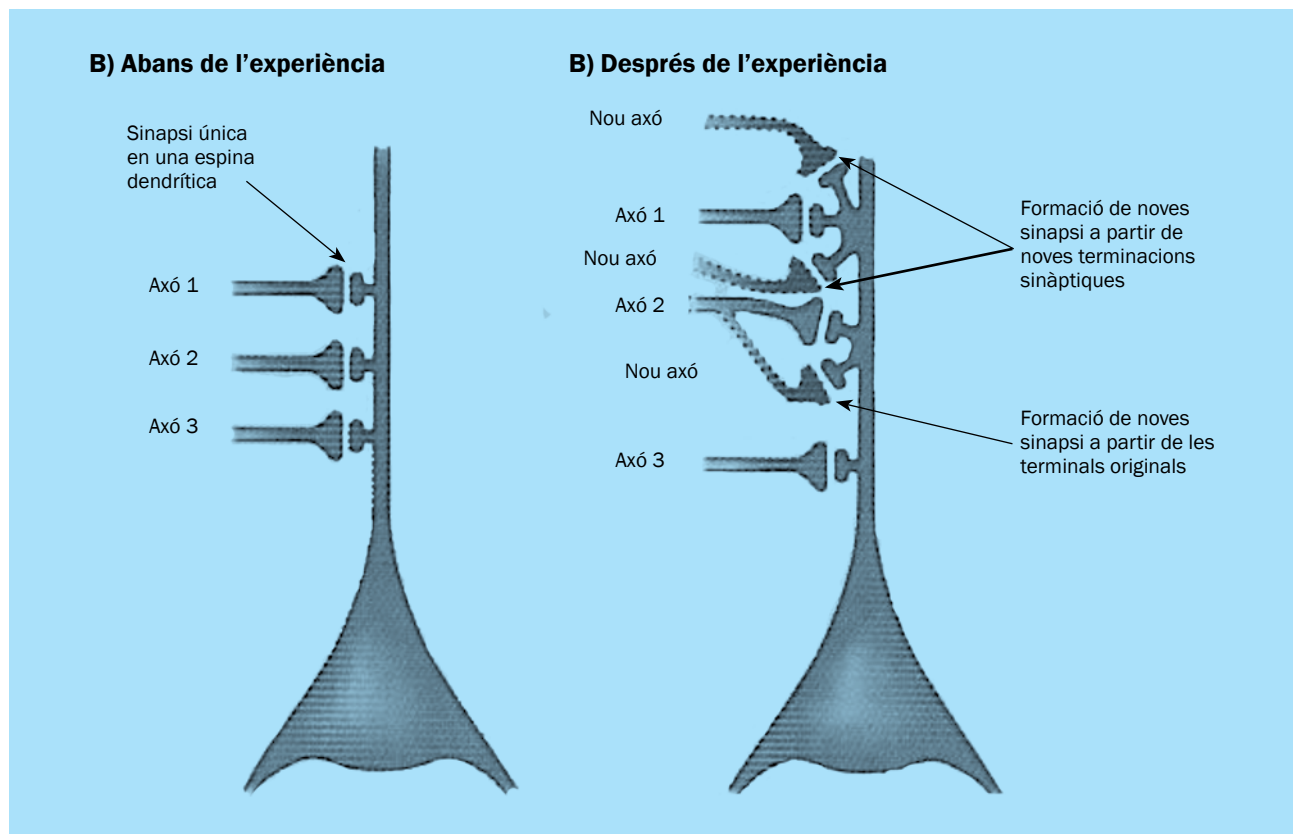
Tots dos mecanismes faciliten les sumacions temporals i espacials, respectivament, d'impulsos nerviosos que la neurona posterior a les sinapsis facilitades rebrà, millorant, doncs, la intensitat i la velocitat de la conducció nerviosa.

Nombroses experiències avalen aquests fets, fins i tot se'n comencen a conèixer les bases moleculars i bioquímiques. Com a exemple, esmentarem la importància en aquests canvis estructurals dels canals de Calci, les

subunitats NR2A i NR2B dels receptors NMDA, l'òxid nítric o el polipèptid GluR2.

A hores d'ara també sabem que **la neurogènesi adulta**, capacitat que té el cervell de produir noves cèl·lules nervioses (neurones i neuròglia) al llarg de tota la vida, participa en aquests processos. En algunes zones del cervell, com l'hipocamp, regió fonamental en l'aprenentatge, perquè és la regió encarregada de rebre i ordenar temporalment i espacialment la informació que més tard formarà la memòria, es generen noves neurones en resposta a estímuls procedents de l'entorn.

En resum, podem dir que el cervell no és un teixit rígid incapaç de modificar la seva estructura un cop desenvolupat, com es pensava, sinó que presenta una considerable plasticitat. És cert que aquesta plasticitat es fa més pobra i lenta a mesura que el cervell envellaix, però mai no es perd del tot, especialment si mai no deixem d'estimular-la. Això explicaria que una vida activa, físicament i intel·lectualment, disminueixi el risc de degeneració cerebral associada a l'edat.



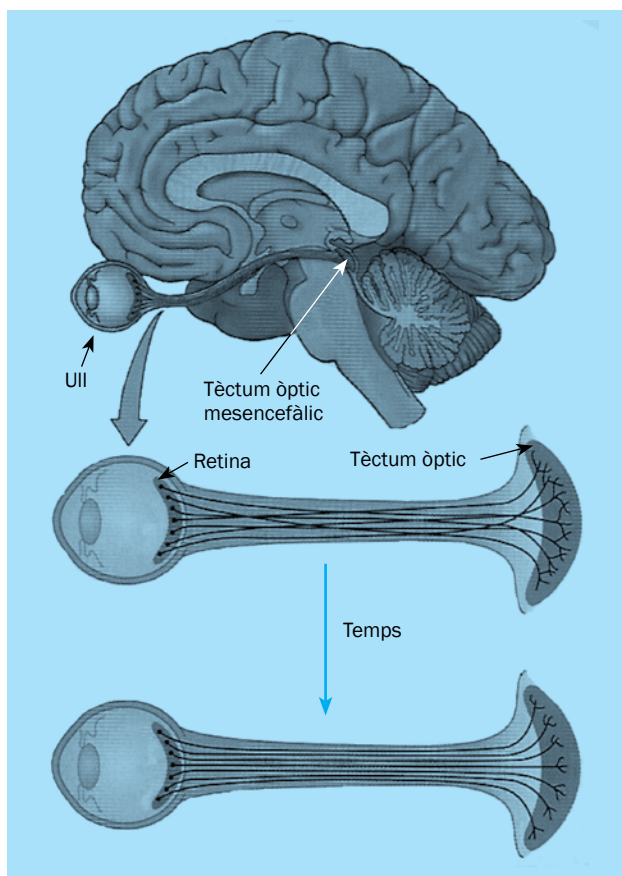
**Figura 8**

Multiplicació sinàptica. (Font: *Cerebro y Conducta*. McGrawHill.)

## Quin és el moment idoni per a començar un entrenament visual?

Sobre la base dels conceptes explicats anteriorment i tenint en compte que la via visual ha de presentar si més no una mínima integritat, la nostra experiència ens permet de dir que el moment idoni és aquell en què el pacient o, en el cas dels nens, els pares tinguin interès real a millorar. Tot i que és cert que és més fàcil i ràpid tractar alteracions en nens que no pas en adults, sovint ens trobem que la motivació per superar el problema és tan important en un adult que l'EV és igual d'eficaç en els adults que en els nens. De tota manera, per matisar la resposta a aquesta pregunta cal conèixer alguns aspectes del desenvolupament.

**El desenvolupament** consisteix en una sèrie d'etapes successives, i està basat en un programa genètic i modulad per l'ambient, que van modificant les estructures dels éssers vius fins a arribar a l'estat adult. Una definició



**Figura 9**  
Desenvolupament de la via retinogeniculada. (Font: *Cerebro y Conducta*. McGrawHill.)

conservadora que, com veurem posteriorment, convé de millorar.

Durant l'etapa fetal es posen les bases d'allò que serà posteriorment el sistema neurològic de l'adult. Durant aquest període, les neurones han d'ésser generades en gran nombre, han de localitzar-se als llocs adequats i han d'estendre els seus axons en la direcció correcta, fins a arribar a la seva destinació. A les set setmanes de la concepció ja són visibles estructures tan importants com l'escorça cerebral i en el moment del naixement es tenen formades una ingent quantitat de neurones, la majoria. Però les neurones encara no estan madures, hi ha poques connexions i la mielinització no s'ha completat, dos fets imprescindibles.

A mesura que el nen creix el seu cervell també creix. Aquest creixement es realitza perquè augmenta la mida de les neurones, l'extensió de la mielinització, el nombre de dendrites i botons sinàptics dels axons, igual com per la quantitat de connexions que estableixen. Per a això és imprescindible l'estimulació dels nens mitjançant el tacte, la parla, les imatges i l'activitat motora. La generació, localització i propagació dels axons estan governades pel nostre codi genètic. Però per a arribar a la precisió de connexions i la complexitat de les vies del cervell adult és imprescindible la "funció neuronal". El cervell i tots els altres sistemes neurològics han de ser estimulats i aquest estímul comença en el període fetal. Els gens i l'entorn es combinen inevitablement des del moment de la concepció fins al moment de la mort.

L'escorça parietal comença a funcionar molt aviat, i permet que el nen es vagi adonant de les característiques fonamentals del món que l'envolta. Els lòbuls frontals no entren en joc fins al voltant dels sis mesos, que és quan dona els primers senyals d'enteniment, però no acaben de mielinitzar-se fins a l'edat adulta. A l'any, comença a controlar el seu sistema límbic. Les àrees del llenguatge inicien la seva activitat cap als 18 mesos, i la maduració de l'àrea de la comprensió és anterior a la de la generació; això explica per què comprenen abans el llenguatge que no pas parlen. En aquest moment comencen també la seva activitat els lòbuls prefrontals i el nen comença a prendre consciència de si mateix. L'hipocamp comença a madurar cap als 3 anys. Per això no tenim records anteriors a aquesta edat; no obstant això, sí que hi ha records emocionals, perquè l'amígdala ja està funcionant en néixer. La formació reticular s'acaba de mielinitzar a la pubertat i augmenta la capacitat de concentració. El període de la infància és el període més plàstic del cervell.

Centrant-nos en el **desenvolupament del sistema visual**, la primera manifestació diferenciada en l'embrió és la retina, es deriva de l'ectoderma de la placa neural, durant la tercera setmana de gestació. Posteriorment, les cèl·lules ganglionars es desenvolupen i expandeixen els seus axons a través del pedicle òptic, formació que uneix la retina primitiva amb el diencèfal i que servirà de "camí" perquè aquests axons arribin a la seva destinació, el CGL del tàlem; així apareix la via òptica retinogeniculada (nervi, quiasma i cintes òptiques). (Fig. 9).

Els axons de les cèl·lules ganglionars, després d'haver recorregut el seu camí postretinal, faran sinapsi amb les neurones del CGL i posteriorment aquestes ho faran amb la capa 4 de l'escorça visual.

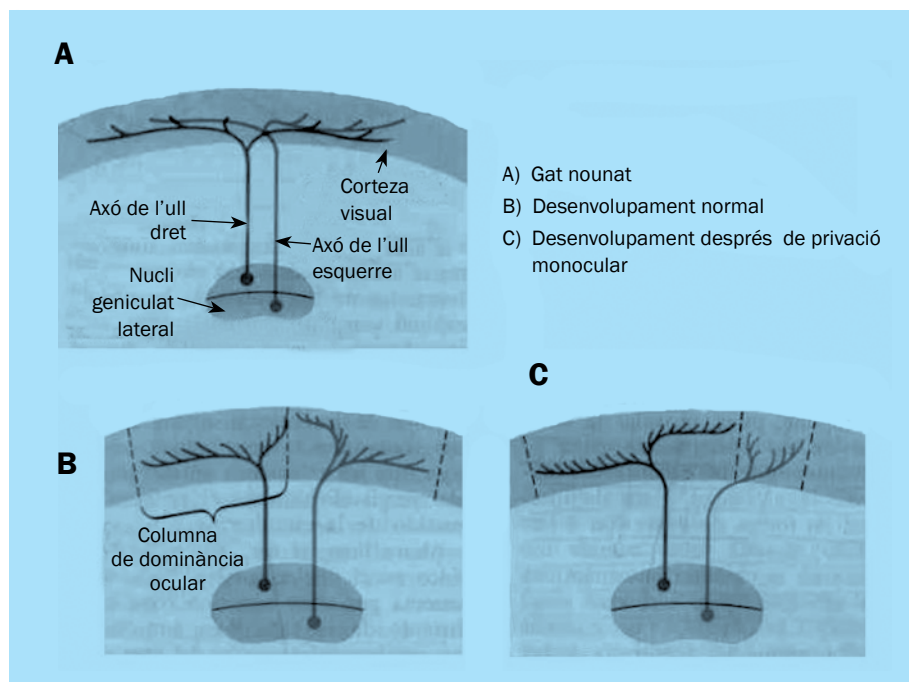
Com ja sabem, perquè aquest desenvolupament sigui normal cal un **substrat genètic**, que produeixi la generació, localització i propagació dels axons. Però, per tal d'arribar a la precisió de connexions i la complexitat de la via visual, també cal l'estimulació **precoç** d'aquesta via. Aquest procés d'estimulació precoç s'aconsegueix gràcies al fet que les cèl·lules ganglionars de retina en formació generen descàrregues de potencials d'acció espontanis durant el període fetal. Aquestes descàrregues segueixen un patró, la descàrrega espontània de les cèl·lules ganglionars veïnes de cada ull es realitza en sincronia, mentre que les descàrregues d'ambdós ulls considerades globalment ho fan en asincronia. Això, afegit

al fet que les sinapsis amb el CGL i l'escorça visual es realitzen segons el patró de Hebb, assegura un desenvolupament en vies i capes específiques per a cada ull, base anatòmica de la binocularitat.

Aquest procés de "cablejat" i desenvolupament de les neurones implicades en la visió es perllongarà fins al setè mes de gestació, però les característiques funcionals i l'estructura arquitectònica del sistema visual no es completarà fins a etapes posteriors de la vida. Serà necessària l'estimulació constant i simultània de tots dos ulls perquè les connexions i l'amplitud de territoris d'aquestes connexions siguin suficients i equilibrades. Si no és així, l'ull insuficientment estimulat perdrà "nínxol neurològic" i, doncs, funcionalitat. A més a més, les prolongacions de l'ull estimulat correctament aprofitaran part del "nínxol buit" per a estendre-s'hi, tot augmentant més la diferència funcional entre tots dos ulls. (Fig. 10)

El període, que va des de la tercera setmana de la gestació fins als tres primers anys de vida, és el més plàstic i el més crític per al desenvolupament visual, però això no vol dir que no es continuï desenvolupant o que perdi tota la plasticitat en l'edat adulta. Aquesta diferenciació és important i per això concretarem quin és el període crític.

**El període crític** és aquell període de temps durant el qual una pèrdua és electiva, és a dir, alterarà el desenvolupament normal de la via neurològica disminuïda.



**Figura 10**

Desenvolupament de la via geniculadacortical. (Font: *Mente y Cerebro*. McGrawHill.)

El període crític no és el període inicial del desenvolupament, ni menys encara el període durant el qual hom pot obtenir la recuperació o, dit d'altra manera, el període fora del qual ja no és possible obtenir una recuperació. El pronòstic de recuperació d'una via disminuïda depèn més d'altres factors, com ara del nivell anatòmic del sistema implicat, del nivell de la funció visual disminuïda, de la intensitat de la disminució, de la història visual prèvia del subjecte i del seu interès per la recuperació.

Arribat aquest punt, ens podem preguntar **quan acaba el desenvolupament visual** o, el que és el mateix, el desenvolupament cerebral. Si per desenvolupament entenem la maduració del sistema fins a la forma adulta, podem dir que acaba amb l'adolescència, si per desenvolupament entenem tots els canvis que fan possible una millor adaptació al medi i per tant una capacitat major de supervivència, podríem dir que el desenvolupament no acaba mai, almenys mentre existeixi vida.

Ara podríem tornar a la pregunta inicial: quin és el moment idoni per començar un EV? Estem ben segurs que després de tot el que hem exposat, vostès mateixos es poden respondre.

Per a acabar, m'agradaria proposar una petita reflexió sobre la base d'una altra frase del biòleg molecular Joe Z. Tsien (1999). Una frase que ens convida a considerar molt seriosament la importància i la responsabilitat que tenim en plantejar un bon EV.

*L'aprenentatge i la memòria transcendeixen la nostra cultura i civilització, de generació en generació. Són forces decisives de l'evolució cultural i social, igual com del comportament.*

Pensin en això cada vegada que ensenyin a un dels seus pacients a veure millor.

## Bibliografia

- Bick-Sander, A.; Steiner, B.; Wolf, S. A.; Babu, H. i Kempermann, G. (2006). Running in pregnancy transiently increases postnatal hippocampal neurogenesis in the offspring. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 103: 3852-3857
- Carter, R. (1998). *El nuevo mapa del cerebro*. Barcelona: RBA.
- Changues, J. P. (1994). Química de las comunicaciones cerebrales. *Investigación y Ciencia*. 208: 18-26
- Daw, N. W. (1998). Critical Periods and Amblyopia. *Arch Ophthalmol*. 116: 502-505
- Hubel, D. H. (1999). *Ojo, cerebro y visión*. Murcia: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Kandel, E. R.; Schwartz, J. H. i Jessell, T. M. (2003). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Pearson Educación.
- Kempermann, G. (2006). Neurogénesis. *Mente y Cerebro*. 19: 10-13.
- Kolb, B. i Whishaw I. K. (2002). *Cerebro y conducta. Una introducción*. McGrawHill
- Lepore, F.; Ellemberg, D.; Hammarrenger, B.; Roy, M. S. i Guillemot, J. P. (2001). Contrast dependency of VEPs as a function of spatial frequency: the parvocellular and magnocellular contributions to human VEPs. *Spatial Vision*. 15: 99-111
- Liu, L. i cols. (2004). Role of NMDA Receptor Subtypes in Governing the Direction of Hippocampal Synaptic Plasticity. *Science*. Vol. 304. no. 5673, pàgs. 1021-102.
- Livingstone, M. i Hubel, D. (1988) Segregation of form, color, movement and depth: Anatomy, physiology and perception. *Science*. 240: 740-749
- Mishkin, M. i Appenzeller, T. (1994). *Anatomía de la memoria. Psicología fisiológica* pàgs. 110-121. Barcelona: Prensa Científica S.A.
- Nieto, M. (2003). Plasticidad neural. *Mente y Cerebro*. 4: 11-19.
- Purves, D.; Lotto, R. B. i Nundy, S. (2003). Por qué vemos lo que vemos. *Investigación y Ciencia*. 323: 56-64
- Rivadulla, C. (2002). ¿Cómo vemos? Plasticidad de la corteza estriada. *Investigación y Ciencia*. 310: 40-41
- Salo, E. (2004). Control genético del desarrollo del ojo. *Investigación y Ciencia*. 337: 54-66
- Stoerig, P. (2003). Ver a ciegas. *Mente y Cerebro*. 5: 82-86
- Tsien, J. Z. (2000). Ratones expertos. *Investigación y Ciencia*. 285: 44-50
- Valverde, F. (2004). Estructura y organización de la corteza visual primaria. *Mente y Cerebro*. 6: 10-19
- Zeki, S. (1995). *Una visión del cerebro*. Barcelona: Editorial Ariel.